

Arrangement for generating red, green and blue laser radiation

Patent number: DE10009381

Publication date: 2001-09-20

Inventor: TUENNERMANN ANDREAS (DE); GABLER THOMAS (DE); ZELLMER HOLGER (DE); KRAENERT JUERGEN (DE)

Applicant: SCHNEIDER LASER TECHNOLOGIES A (DE)

Classification:

- International: G02F2/02; H01S3/108; H04N9/31

- european: G02F1/35W2

Application number: DE20001009381 20000229

Priority number(s): DE20001009381 20000229

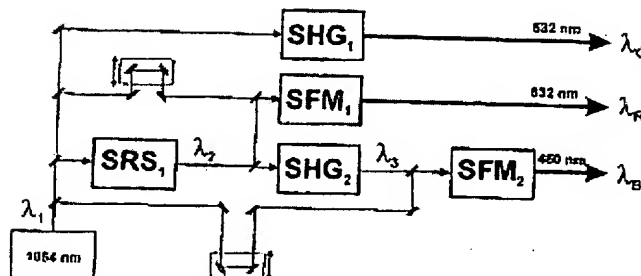
Also published as:

US2001017868 (A1)

Abstract not available for DE10009381

Abstract of correspondent: **US2001017868**

An arrangement which generates red, green and blue laser radiation comprise a laser radiation source whose first beam (λ_1) is split in the infrared wavelength range, wherein the first part of this beam is frequency-doubled and green light (λ_G) results and another part is used to generate light of the primary colors red (λ_R) and blue (λ_B). Another part of the first beam (λ_1) is fed to a wavelength converter which generates another beam (λ_2 , λ_4) in the infrared wavelength range which has a greater wavelength than the first beam (λ_1), further, the colors red (λ_R) and blue (λ_B) result from the further beam (λ_2 , λ_4) or from a part thereof by another nonlinear process by sum frequency mixing or by frequency doubling or by sum frequency mixing and frequency doubling



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑩ **Offenlegungsschrift
DE 100 09 381 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 02 F 2/02
H 01 S 3/108
H 04 N 9/31

⑳ Aktenzeichen: 100 09 381.7
㉑ Anmeldetag: 29. 2. 2000
㉒ Offenlegungstag: 20. 9. 2001

DE 100 09 381 A 1

㉓ **Anmelder:**
SCHNEIDER Laser Technologies Aktiengesellschaft,
07548 Gera, DE

㉔ **Vertreter:**
Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80687
München

㉕ **Erfinder:**
Kränert, Jürgen, Dr., 07749 Jena, DE; Gabler,
Thomas, Dr., 99441 Kromsdorf, DE; Tünnermann,
Andreas, Prof., 07743 Jena, DE; Zellmer, Holger, Dr.,
99441 Magda, DE

㉖ **Entgegenhaltungen:**
DE 197 13 433 C1
DE 195 04 047 C1
DE 39 19 673 A1
DE 38 10 306 A1
US 57 61 224

Photonics Spectra, April 1993, S. n 125-126, 128;
DE-Buch: Lexikon der Optik, H. Haferkorn, Hrsg.,
Hanau: Dausien 1988, S. 130;
DE-Buch: Lasertechnik, Eine Einführung, 4. Aufl.,
W. Brunner et al., Hrsg., Heidelberg: Hüting 1989,
S. n 206-211;

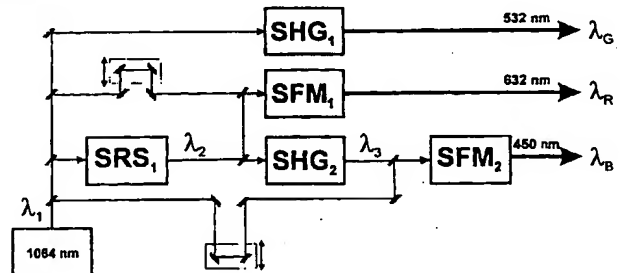
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ **Anordnung zur Erzeugung roter, grüner und blauer Laserstrahlung**

㉘ Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung roter, grüner und blauer Laserstrahlung, bestehend aus einer Laserstrahlungsquelle (1), deren erste Strahlung (λ_1) im infraroten Wellenlängenbereich aufgeteilt wird, wobei deren erster Teil frequenzverdoppelt wird (SHG₁) und Licht der Farbe Grün (λ_G) sich ergibt und deren weiterer Teil zur Erzeugung von Licht der Primärfarben Rot (λ_R) und Blau (λ_B) verwendet wird.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer Teil der ersten Strahlung (λ_1) einen Wellenlängenkonverter (SRS₁, SRS₂) zugeführt wird, der eine weitere Strahlung (λ_2 , λ_4) im infraroten Wellenlängenbereich erzeugt, welche jeweils eine größere Wellenlänge hat als die erste Strahlung (λ_1), weiterhin aus der weiteren Strahlung (λ_2 , λ_4) oder aus einem Teil von dieser durch einen weiteren nichtlinearen Prozeß durch Summenfrequenzmischung oder durch Frequenzverdopplung oder durch Summenfrequenzmischung und Frequenzverdopplung (SHG₂, SHG₃, SFM₁, SFM₂, SFM₃) die Farben Rot (λ_R) und Blau (λ_B) sich ergeben.



DE 100 09 381 A 1

Die Erfindung betrifft eine Anordnung die aus Laserstrahlung im infraroten Wellenlängenbereich Licht der Farben Rot, Grün und Blau erzeugt, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Das Licht in den Farben Rot, Grün und Blau soll insbesondere zur Darstellung farbiger Bilder Verwendung finden.

Bekannt ist die Erzeugung von Licht in den Primärfarben aus den Veröffentlichungen DE 44 32 029 C2, DE 197 13 433 C1, DE 195 04 047 C1, US 5,740,190 A und EP 0 788 015 A2, die sämtlich einen IR-Laser verwenden, dessen Strahlung oder dessen frequenzverdoppelte Strahlung zumindest zu einem Teil einem Optisch-Parametrischen-Oszillator (OPO) zugeführt wird. Mit Hilfe der aus dem Optisch-Parametrischen-Oszillator abgestrahlten Signalstrahlung und/oder Idlerstrahlung wird das Licht in den Farben Rot, Grün und Blau über weitere Schritte der Summenfrequenzmischung und/oder Frequenzverdopplung erzeugt. In der US 5,295,143 A wird ein Drei-Farb-Laser beschrieben, bei dem zwei Ti:S-Laser durch einen frequenzverdoppelten Infrarot-Laser gepumpt werden. Die Ti:S-Laser liefern die Farben Rot und Blau. Der frequenzverdoppelte Infrarot-Laser liefert Grün.

Die Erfindung soll eine Anordnung zur Erzeugung von R-G-B-Laserstrahlung schaffen, bei der der technischen Aufwand geringer ist. Weiterhin soll die Strahlerzeugung der Laserstrahlung in den drei Primärfarben mit stabilen Qualitätsparametern erfolgen.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung roter, grüner und blauer Laserstrahlung, bestehend aus einer Laserstrahlungsquelle, deren infrarote Strahlung aufgeteilt wird, wobei deren erster Teil frequenzverdoppelt wird und Licht der Farbe Grün sich ergibt und deren weiterer Teil zur Erzeugung von Licht einer anderen Primärfarbe verwendet wird.

Die Erfindung ist durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 bestimmt. Die Unteransprüche sind vorteilhafte Ausgestaltungen des Anspruchs 1.

Die Erfindung besteht zum einen darin, daß ein zweiter Teil der ersten Laserstrahlung über einen Wellenlängenkonverter, der auf der Basis der stimulierten Raman Streuung (SRS) arbeitet, in Laserstrahlung mit größeren Wellenlängen umgewandelt wird, die dann dazu genutzt werden über Summenfrequenzmischung und/oder Frequenzverdopplung die Farben Rot und Blau zu erzeugen.

Die Erfindung ist in einem ersten Fall dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Teil der ursprünglichen Strahlung mit Hilfe des Raman-Wellenlängenkonverters in den Bereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm verschoben wird, diese wellenlängengeschiftete Strahlung mit einem dritten Teil der ursprünglichen Strahlung einer ersten Summenfrequenzmischung zugeführt wird und sich die Farbe Rot ergibt, weiterhin ein zweiter Teil der geschifteten Strahlung frequenzverdoppelt wird und die frequenzverdoppelte Strahlung mit einem vierten Teil der ursprünglichen Strahlung einer zweiten Summenfrequenzmischung zugeführt wird und Licht der Farbe Blau sich ergibt.

Die Erfindung ist in einem zweiten Fall dadurch gekennzeichnet, daß die in den Wellenlängenbereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm Raman-verschobene Strahlung aufgeteilt wird, wobei ein erster Teil der wellenlängengeschifteten Strahlung mit einem dritten Teil der ursprünglichen Strahlung einer ersten Summenfrequenzmischung zugeführt wird und Licht der Farbe Rot sich ergibt, dieses rote Licht wird aufgeteilt, weiterhin wird ein zweiter Teil der geschifteten Strahlung mit einem Teil des roten Lichts einer weiteren Summenfrequenzmischung zugeführt und Licht der Farbe Blau

ergibt sich.

Die Erfindung ist in einem dritten Fall dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der ursprünglichen Laserstrahlung nur bis in den Wellenlängenbereich zwischen 1,2 bis 1,4 μm Raman verschoben wird und der restliche Teil wieder in den Wellenlängenbereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm , der in den Wellenlängenbereich zwischen 1,2 bis 1,4 μm verschobene Teil frequenzverdoppelt wird und sich die Farbe Rot ergibt, weiterhin der in den Wellenlängenbereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm geschiftete Teil der Strahlung frequenzverdoppelt wird, diese frequenzverdoppelte Strahlung mit einem dritten Teil der ursprünglichen Strahlung einer Summenfrequenzmischung zugeführt wird und Licht der Farbe Blau sich ergibt.

Die Erfindung ist in einem vierten Fall dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der ursprünglichen Laserstrahlung nur bis in den Wellenlängenbereich zwischen 1,2 bis 1,4 μm und der restliche Teil wieder in den Wellenlängenbereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm Raman verschoben wird, der in den Wellenlängenbereich zwischen 1,2 bis 1,4 μm verschobene Teil frequenzverdoppelt wird und die Farbe Rot ergibt sich, dieses rote Licht wird aufgeteilt, weiterhin wird der in den Bereich zwischen 1,4 bis 1,6 μm verschobene Teil der Strahlung mit einem Teil des roten Lichts einer weiteren Summenfrequenzmischung zugeführt und Licht der Farbe Blau sich ergibt.

Für alle Fälle gilt, daß die Laserstrahlungsquelle Licht der Wellenlänge im Bereich von 1,0 bis 1,1 μm ausstrahlt.

Nach dem heutigen Stand der Technik ist die Laserstrahlungsquelle ein Festkörperlaser oder ein Faserlaser auf Neodym (Nd) oder Ytterbium (Yb)-Basis oder ein Diodenlaser. Als Festkörperlaser kommen insbesondere ein Nd:YAG-Laser, ein Nd:YLF-Laser oder ein Nd:YO₄-Laser. Es kann aber auch jede andere Art von Laserstrahlungsquelle verwendet werden, die die erforderlichen Parameter liefert, d. h. Strahlleistung, Divergenz der Laserstrahlungen, geringes Rauschen und eine Wellenlänge im angegebenen Wellenlängenbereich.

Die nichtlinearen Medien für die Frequenzverdopplung und die Summenfrequenzmischung können ein nichtlinearer Kristall oder eine periodischgepolte Struktur sein.

Der Laser ist vorteilhaft ein gepulster Laser, insbesondere ein modensynchronisierter Laser, der Einzelimpulse mit einer Pulswiederholfrequenz bis in den MHz-Bereich liefert. Typische Pulswiederholfrequenzen für Anwendungen zur Bilddarstellung sind 100 Hz, 32 kHz oder größer 50 MHz, wobei für die Bilddarstellung eine Pulsbreite im Bereich von 0,1 ps bis 10 ps erzeugt werden sollte. Beim Einsatz eines gepulsten Lasers ist Bedingung, daß die Pulse in dem nichtlinearen Medium zur Summenfrequenzmischung synchron aufeinandertreffen, d. h. sie müssen dort in ihren geometrischen und zeitlichen Ausmaßen übereinstimmen oder sich zumindest teilweise überdecken und es muß Phasenanpassung herrschen.

Die Laserstrahlungsquelle kann auch Dauerstrich-Laser sein. Bei dieser Konfiguration ist die zeitliche Überdeckung von sich aus gegeben.

Die Erfindung ermöglicht, mit einer vergleichsweise geringen Anzahl von Bauelementen auszukommen, um die drei Primärfarben zu erzeugen.

Durch Teilungsspiegel, die ein festgelegtes Teilungsverhältnis haben, kann eine gewünschte Energieaufteilung in den einzelnen Strahlengängen zur Erzeugung der Farben Rot, Grün und Blau im gewünschten Intensitätsverhältnis vorgenommen werden.

Die Erfindung wird nachfolgen an Hand von Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1: R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit einem Raman-

Wellenlängenkonverter (SRS) und vier Kristallen zur Wellenlängenwandlung

Fig. 2: R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit einem Raman-Wellenlängenkonverter (SRS) und drei Kristallen zur Wellenlängenwandlung

Fig. 3: R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit zwei Raman-Wellenlängenkonvertern und vier Kristallen zur Wellenlängenwandlung

Fig. 4: R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit zwei Raman-Wellenlängenkonvertern und drei Kristallen zur Wellenlängenwandlung

Fig. 5: R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit einem Raman-Wellenlängenkonverter, der auf zwei Wellenlängen betrieben wird.

Fig. 1 zeigt eine erste Ausführung einer erfindungsgemäßen R-G-B-Laserstrahlungsquelle. Sie besteht zunächst aus einer ersten Laserstrahlungsquelle 1, im Beispiel ein modensynchronisierter Nd-YAG-Festkörperlaser. Deren Strahlung λ_1 liegt im infraroten Wellenlängenbereich, im Beispiel bei 1064 nm, deren Pulsbreite ist 4 ps bei einer Pulswiederhol frequenz von 120 MHz.

Diese Strahlung λ_1 wird aufgeteilt, wobei deren erster Teil beim Durchgang durch einen ersten Kristall SHG₁ aus LBO oder KTP oder BBO frequenzverdoppelt wird und Licht der Farbe Grün mit einer Wellenlänge von 532 nm sich ergibt. Weitere Teile werden zur Erzeugung von Licht der Primärfarben Rot und Blau verwendet, wie dies nachfolgend beschrieben ist.

Gemäß der Erfindung wird eine zweite Strahlung λ_2 im infraroten Wellenlängenbereich mit Hilfe eines Raman-Wellenlängenkonverters aus der ursprünglichen Strahlung λ_1 erzeugt. Im Beispiel besteht der Raman Wellenlängenkonverter aus einer mit Bragg-Reflektoren versehenen P-dotierten Faser (siehe z. B. Karpov, V. I. "Laser-diode-pumped Raman laser" in Optics Letters July 1, 1999 Vol. 24 No. 13, 887-889). Die zweite Strahlung λ_2 hat eine Wellenlänge von 1560 nm, ebenfalls mit einer Pulsbreite von 4 ps bei einer Pulswiederhol frequenz von 120 MHz.

Weiterhin wird auch die zweite Strahlung λ_2 aufgeteilt, wobei ein erster Teil der zweiten Strahlung λ_2 mit einem zweiten Teil der ersten Strahlung λ_1 einem zweiten Kristall SMF₁ einer ersten Summenfrequenzmischung in einem KTA- oder LBO- oder KNbO₃-Kristall zugeführt, womit Licht der Farbe Rot mit einer Wellenlänge von 632 nm sich ergibt.

Weiterhin wird ein zweiter Teil der zweiten Strahlung λ_2 in einem dritten Kristall SHG₂ frequenzverdoppelt und diese frequenzverdoppelte Strahlung λ_3 mit einer Wellenlänge von 780 nm mit einem dritten Teil der ersten Strahlung λ_1 einem vierten Kristall SFM₂ aus KNbO₃ oder KTP oder LBO für eine zweite Summenfrequenzmischung zugeführt, womit Licht der Farbe Blau mit einer Wellenlänge von 450 nm sich ergibt.

Die Pulse beider Laserstrahlungsquellen oder deren frequenzverdoppelten Pulse müssen in den nichtlinearen Kristallen, in denen sie aufeinandertreffen, in ihren geometrischen und zeitlichen Ausmaßen übereinstimmen und beide Pulse müssen phasengangepaßt sein, um eine effiziente Frequenzmischung zu erreichen. Die Realisierung der zeitlichen Überlappung der beiden Pulse wird mit Hilfe der Einstellung der optischen Weglängen im Strahlengang vor der räumlichen Zusammenführung der Laserstrahlen vor jedem nichtlinearen Kristall, in dem die Summenfrequenzmischung erfolgt, realisiert. Dazu ist im Beispiel im Strahlengang der Wellenlänge λ_1 vor jedem der nichtlinearen Kristalle zur Summenfrequenzmischung SFM₁ und SFM₂ jeweils ein optisches Delay 3, 4 angeordnet.

Weiterhin müssen die beiden Strahlen in jedem Fall inner-

halb der nichtlinearen Kristalle zur Summenfrequenzmischung SFM₁ und SFM₂ in ihren geometrischen Ausmaßen und ihren Ausrichtungen überlagert werden. Dies erfolgt durch die bekannte Anordnung von Spiegeln und Linsen im Strahlengang der beiden Laserstrahlen, mit denen die Summenfrequenzmischung erfolgt. Phasenanpassung der Pulse wird durch Ausnutzung der Anisotropie jedes nichtlinearen Kristalls erreicht, in der Regel durch eine Kristallorientierung.

Fig. 2 zeigt eine R-G-B-Laserstrahlungsquelle, die mit nur drei Kristallen zur Wellenlängenwandlung arbeitet. Sie besteht aus einer Laserstrahlungsquelle, im Beispiel einem Faserlaser auf Nd-Basis, deren Strahlung λ_1 im infraroten Wellenlängenbereich liegt.

Diese Strahlung wird mit einem Teilungsspiegel aufgeteilt, wobei deren erster Teil in dem ersten Kristall SHG₁ frequenzverdoppelt wird und Licht der Farbe Grün mit einer Wellenlänge von 532 nm ergibt. Ein zweiter Teil wird zur Erzeugung von Licht der Primärfarbe Blau verwendet.

Gemäß der Erfindung wird ein dritter der Laserstrahlung λ_1 in den Wellenlängenbereich λ_2 verschoben. Auch diese zweite Strahlung wird mit einem Teilungsspiegel aufgeteilt, wobei ein erster Teil der zweiten Strahlung λ_2 im infraroten Wellenlängenbereich mit dem zweiten Teil der ersten Strahlung λ_1 dem zweiten Kristall SMF₁ zur ersten Summenfrequenzmischung zugeführt wird und Licht der Farbe Rot mit der Wellenlänge von 632 nm sich ergibt.

Dieses rote Licht wird mit einem weiteren Teilungsspiegel aufgeteilt. Ein Teil des roten Lichtes steht an einem Ausgang des R-G-B-Lasers zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung und der andere Teil wird zur Erzeugung der Farbe Blau verwendet. Dazu wird ein zweiter Teil der zweiten Strahlung λ_2 mit dem einem Teil des roten Lichtes einem weiteren Kristall SFM₃ aus LBO oder KNbO₃ zu einer weiteren Summenfrequenzmischung zugeführt und Licht der Farbe Blau mit einer Wellenlänge von 450 nm ergibt sich. Beide Laser werden als Dauerstrich-Laser betrieben. Die nichtlinearen Kristalle sind hier als gepolte Strukturen ausgeführt.

Fig. 3 zeigt eine R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit zwei Raman-Wellenlängenkonvertern SRS₁ und SRS₂ und mit vier Kristallen zur Wellenlängenwandlung entsprechend der Lösung in Fig. 1.

Fig. 4 zeigt eine R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit zwei Raman-Wellenlängenkonvertern SRS₁ und SRS₂ und mit drei Kristallen zur Wellenlängenwandlung entsprechend der Lösung in Fig. 2

Fig. 5 zeigt eine R-G-B-Laserstrahlungsquelle mit einem Raman-Wellenlängenkonverter SRS₃, der auf den zwei Wellenlängen λ_2 und λ_4 betrieben wird. Die Wellenlängen umwandlung entspricht der in Fig. 4.

Ein derartiger Raman-Wellenlängenkonverter SRS₃ ist auch für die Lösung in Fig. 3 einsetzbar.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung roter, grüner und blauer Laserstrahlung, bestehend aus einer Laserstrahlungsquelle (1), deren erste Strahlung (λ_1) im infraroten Wellenlängenbereich aufgeteilt wird, wobei deren erster Teil frequenzverdoppelt wird (SHG₁) und Licht der Farbe Grün (λ_G) sich ergibt und deren weiterer Teil zur Erzeugung von Licht der Primärfarben Rot (λ_R) und Blau (λ_B) verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein weiterer Teil der ersten Strahlung (λ_1) einem Wellenlängenkonverter (SRS₁, SRS₂) zugeführt wird, der eine weitere Strahlung (λ_2 , λ_4) im infraroten Wellenlängenbereich erzeugt, welche jeweils eine größere

Wellenlänge hat als die erste Strahlung (λ_1), weiterhin aus der weiteren Strahlung (λ_2, λ_4) oder aus einem Teil von dieser durch einen weiteren nichtlinearen Prozeß durch Summenfrequenzmischung oder durch Frequenzverdopplung oder durch Summenfrequenzmischung und Frequenzverdopplung (SHG₂, SHG₃, SFM₁, SFM₂, SFM₃) die Farben Rot (λ_R) und Blau (λ_B) sich ergeben.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Teil der ersten Strahlung (λ_1) einem ersten Wellenlängenkonverter (SRS₁) zugeführt wird, der eine zweite Strahlung (λ_2) erzeugt, weiterhin aus einem Teil der zweiten Strahlung (λ_2) oder einem Teil von dieser durch Summenfrequenzmischung (SFM₁) mit einem Teil der roten Strahlung (λ_R) die Farbe Blau (λ_B) sich ergibt (Fig. 2 und 4).

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Teil der ersten Strahlung (λ_1) einem ersten Wellenlängenkonverter (SRS₁) zugeführt wird, der eine zweite Strahlung (λ_2) erzeugt, weiterhin aus der zweiten Strahlung (λ_2) oder einem Teil von dieser durch Frequenzverdopplung (SHG₂) eine dritte Strahlung (λ_3) erzeugt wird und durch Summenfrequenzmischung der dritten Strahlung (λ_3) mit einem dritten Teil der ersten Strahlung (λ_1) die Farbe Blau sich ergibt (Fig. 1 und 3).

4. Anordnung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem Teil der zweiten Strahlung (λ_2) durch Summenfrequenzmischung (SFM₁) mit einem vierten Teil der ersten Strahlung (λ_1) die Farbe Rot (λ_R) sich ergibt (Fig. 1 und 2).

5. Anordnung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein fünfter Teil der ersten Strahlung (λ_1) einem zweiten Wellenlängenkonverter (SRS₂) zugeführt wird, der eine vierte Strahlung (λ_4) erzeugt, weiterhin aus der vierten Strahlung (λ_4) durch Frequenzverdopplung (SHG₃) die Farbe Rot (λ_R) sich ergibt (Fig. 3 und 4).

6. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der ersten Strahlung (λ_1) einem einzigen Wellenlängenkonverter (SRS₃) zugeführt wird, der die zweite Strahlung (λ_2) und die vierte Strahlung (λ_4) erzeugt (Fig. 5).

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

- Leerseite -

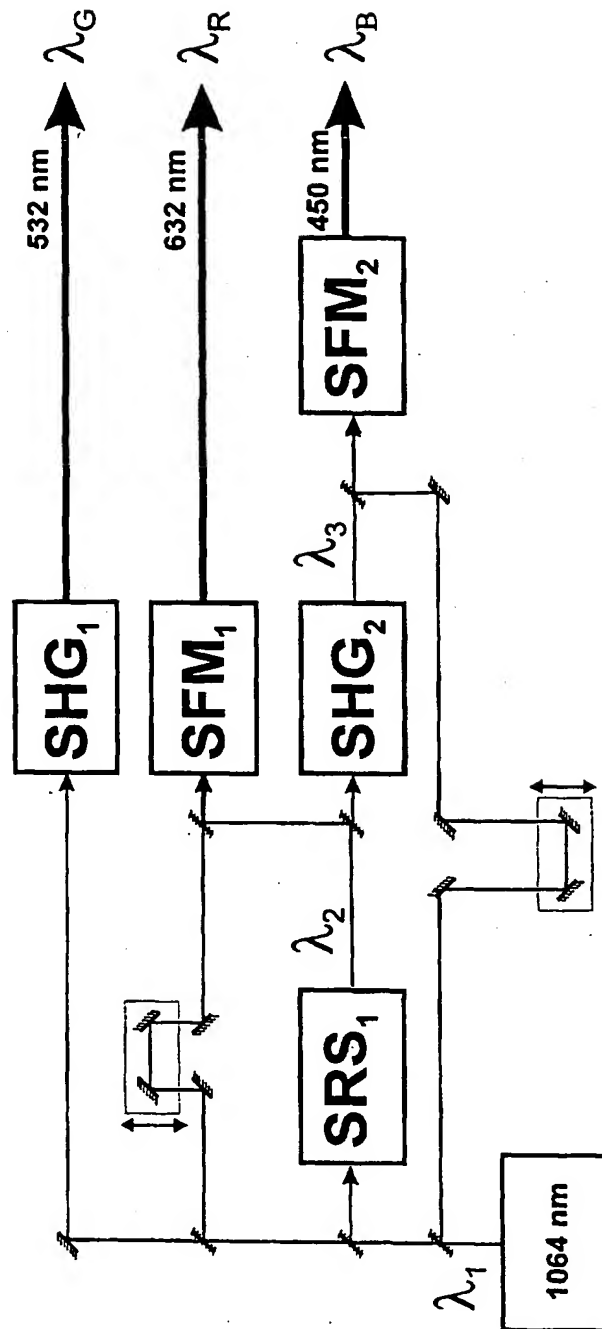


Fig. 1

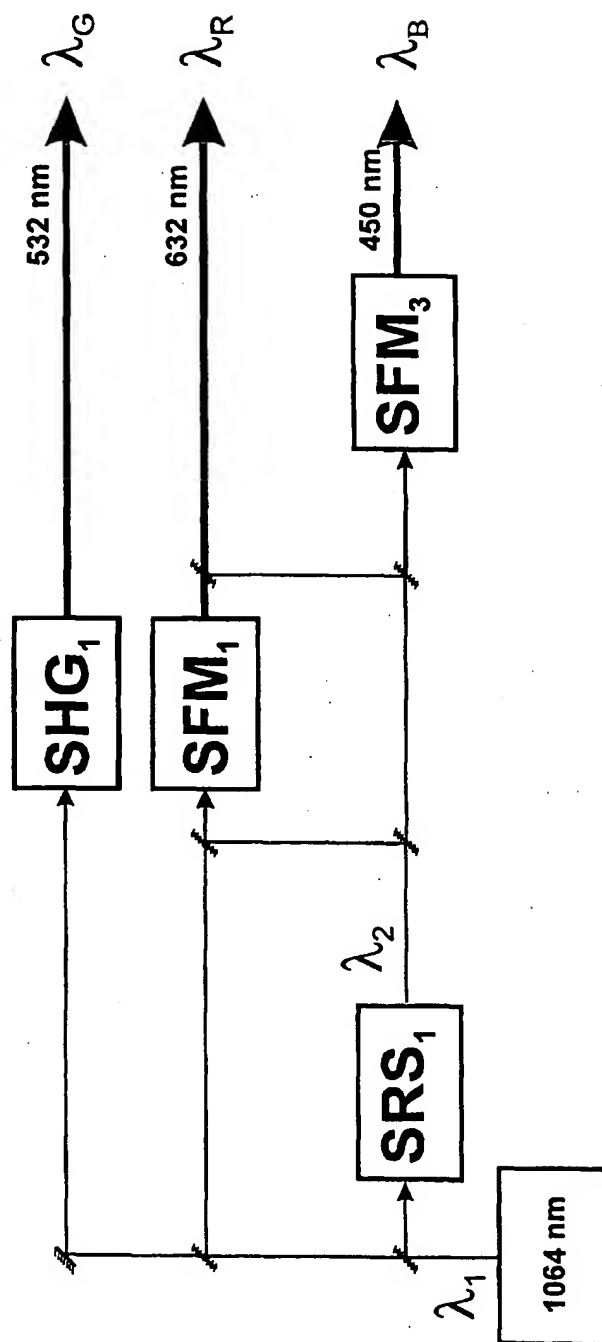


Fig. 2

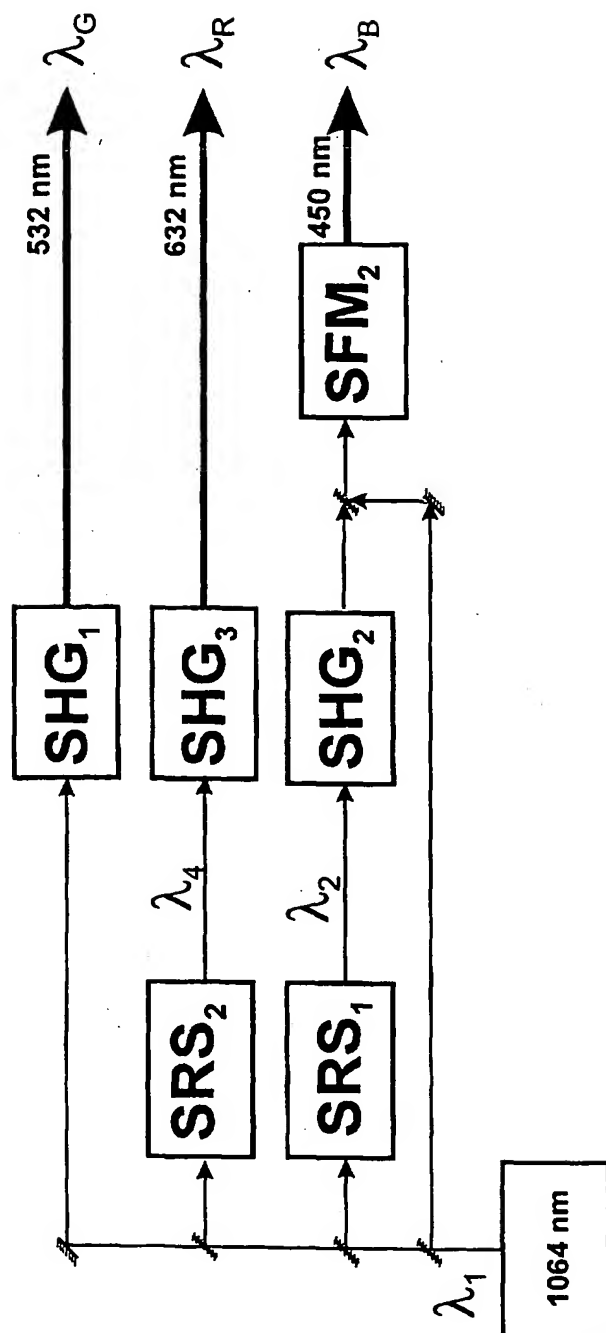


Fig. 3

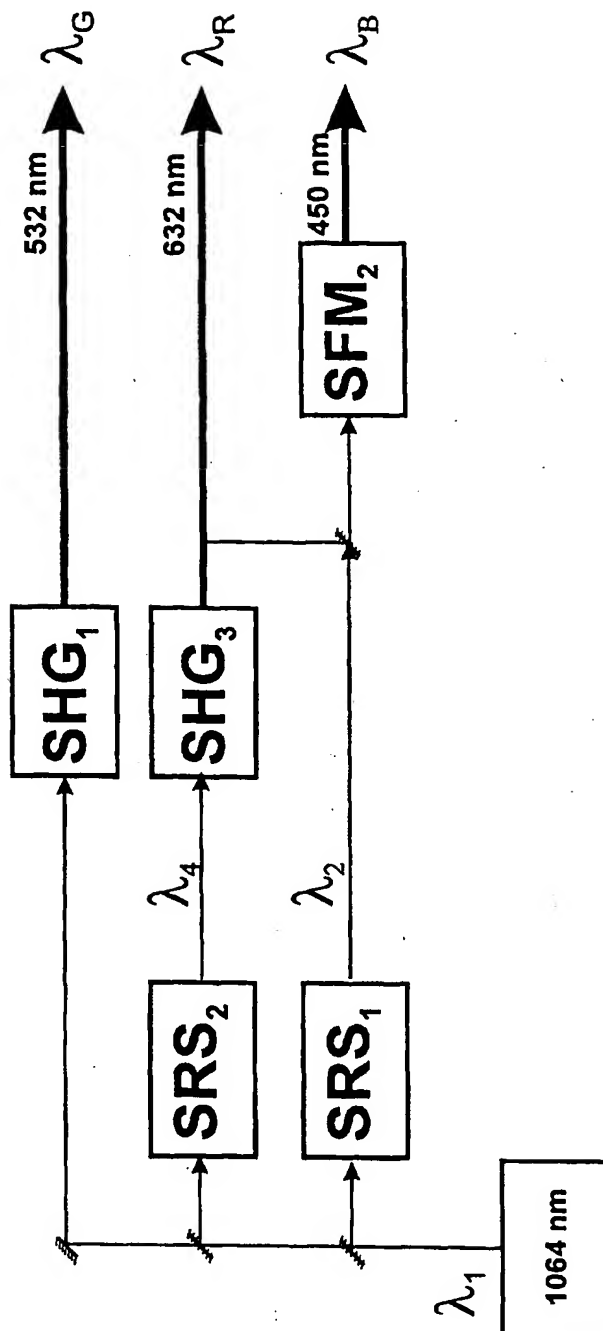


Fig. 4

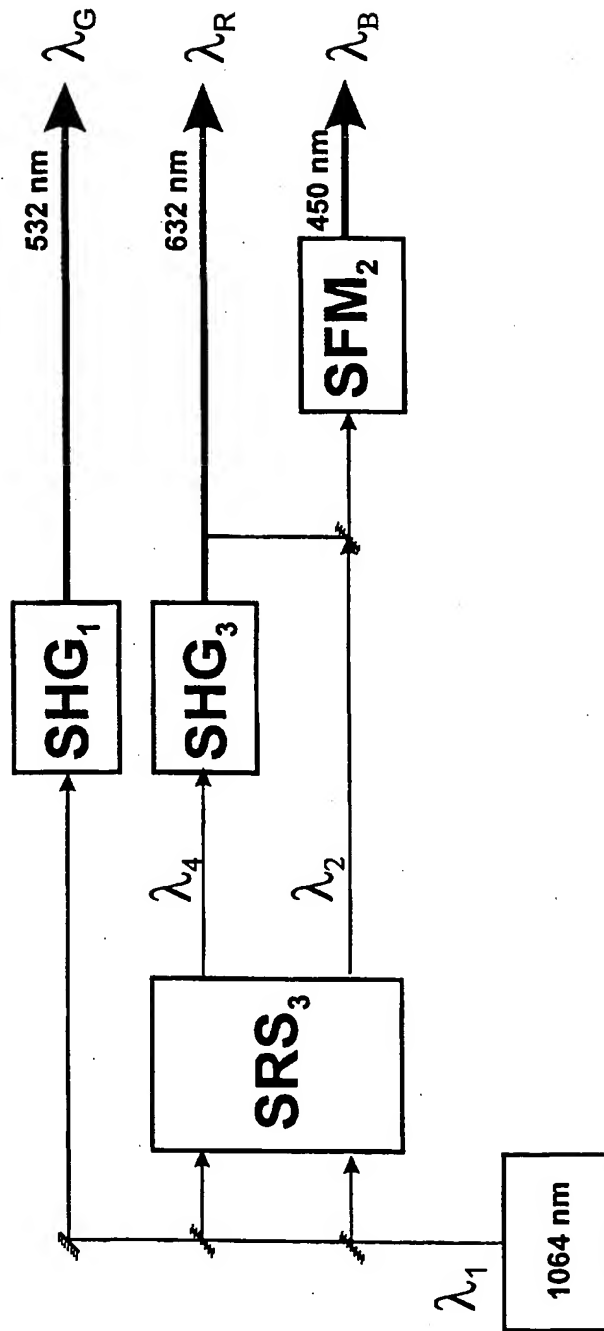


Fig. 5